

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ ВАЛА С ВТУЛКОЙ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ПРОЦЕССА ФРЕТТИНГ – КОРРОЗИИ

Петухов А.Н., Басов К.А.
ЦИАМ им. П. И. Баранова, г. Москва

При нагружении валов с напрессованными втулками давление у границы контактных пар изменяется циклически, отличаясь от номинальной величины давления, вызванного начальным натягом, до максимального значения, обусловленного действием эксплуатационных нагрузок. Давление, действующее в контактной паре, и характер его распределения зависят от целого ряда факторов, на которые влияют: геометрические размеры деталей; свойства материалов контактирующих пар; шероховатость; коэффициент трения при проскальзывании и другие параметры.

Аналогичные явления могут наблюдаться в разного типа малоподвижных соединениях, подвергающихся циклическому нагружению (замковых, фланцевых, болтовых соединениях и др.) [1], что является основной причиной возникновения фреттинга и фреттинг – усталости.

Исследование сопротивления усталости подобных соединений обычно проводится на натурных объектах или на специальных образцах. Испытания натурных деталей и модельных образцов являются длительными и дорогостоящими. Кроме того, они требуют разработки и изготовления оснастки, а также специального испытательного оборудования, препарирования объектов исследования тензорезистрами и т.п. Эти испытания следует дополнять детальными исследованиями напряженно - деформированного состояния (НДС) конструкции (модели) путем численного эксперимента, в ходе которого могут корректироваться конфигурация модели или оснастки и диапазон нагрузок, при которых проводится натурный эксперимент. Следовательно, для получения достоверных данных материалов необходимо проводить оптимизацию эксперимента.

Наличие в существующих комплексах МКЭ (ANSYS, NASTRAN и др.) возможностей решения контактных задач позволяет учитывать НДС в геометрически нелинейных задачах, в частности, контактных, как в упругой, так и упруго – пластической постановке.

При этом необходимо определять как нормальные контактные давления (напряжения), так и касательные напряжения, которые возникают при циклических взаимных перемещениях деталей при наличии сил трения и реальной шероховатости контактирующих деталей и являются ответственными за образование усталостных трещин.

Поскольку при расчете описываемой модели применялся пакет МКЭ ANSYS, все изложенное ниже, относящееся к численному моделированию

поведения расчетных моделей, относится именно к этому пакету МКЭ. Применение иных пакетов МКЭ (в частности, NASTRAN), который имеет ряд отличий, здесь не рассматривается.

Для исследования контактных задач комплекс МКЭ ANSYS имеет следующие возможности:

- расчет контактного взаимодействия типа «узел с узлом»;
- расчет контактного взаимодействия типа «узел с поверхностью»;
- расчет контактного взаимодействия типа «поверхность с поверхностью».

Исследования контактных задач с помощью комплекса МКЭ ANSYS дают следующие возможности для расчёта:

- контактного взаимодействия типа «узел с узлом»;
- контактного взаимодействия типа «узел с поверхностью»;
- контактного взаимодействия типа «поверхность с поверхностью».

Каждый тип контактного взаимодействия описывается специальными контактными конечными элементами особого типа (или даже парами контактных элементов, в зависимости от применяемой модели). К достоинству расчета контактных задач в комплексе ANSYS следует отнести возможность создания в модели любого из трех перечисленных выше наборов элементов контактного взаимодействия по выбору пользователя. В случае же применения пакета МКЭ MSC NASTRAN возможен только простейший тип контакта (узел с узлом), а для расчета более сложных контактных взаимодействий следует применять другой продукт компании MSC (MSC MARC).

Разумеется, время расчета геометрически нелинейной задачи зависит и от дискретизации сетки конечных элементов, и от типа конечных элементов, моделирующих контактное взаимодействие. В данном случае для получения результатов использовалась модель контакта типа «поверхность с поверхностью», описывающая поведение двух взаимодействующих поверхностей в целом, а не только набора узлов, которые могут входить в контакт и или не состоять в таковом.

Для определения контактного взаимодействия образцов, моделирующих поведение сопряженных деталей в условиях эксперимента при наличии шероховатости и взаимного относительного микроперемещения, была принята модель с начальным контактом в точке (контакт сферы или цилиндра с плоскостью), показанная на рис. 1. Реальная шероховатость взаимодействующих деталей в комплексе МКЭ ANSYS может учитываться особыми опциями (признаками) элементов контактного взаимодействия.

Возможности, имеющиеся в комплексе МКЭ ANSYS, обеспечивают вычисление в зоне контакта не только распределения контактных напряжений, но и распределение касательных напряжений от сил трения, а также взаимных перемещений узлов сетки конечных элементов, находящихся на поверхностях и вступающих в контактное взаимодействие [2].

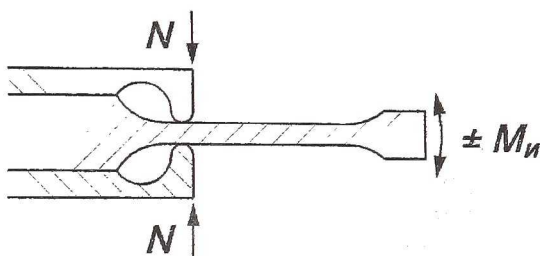


Рис. 1. Схема нагружения образца с накладками, имитирующего вал с втулками

Модель, показанная на рис.1, имеет следующие особенности: наличие двух контактных пар, приложение всех граничных условий в кинематическом виде и учет начальных контактных напряжений.

Вид расчетной модели показан на рис. 2. В расчете применялась сетка, состоящая из конечных элементов II порядка и контактные элементы с расширенными возможностями. Подобная постановка задачи увеличивает время расчета нелинейных задач, но позволяет получать уточненные результаты. Использование такой расчетной модели дает возможность предварительного численного моделирования натурального эксперимента и сравнение его результатов с натурными испытаниями.

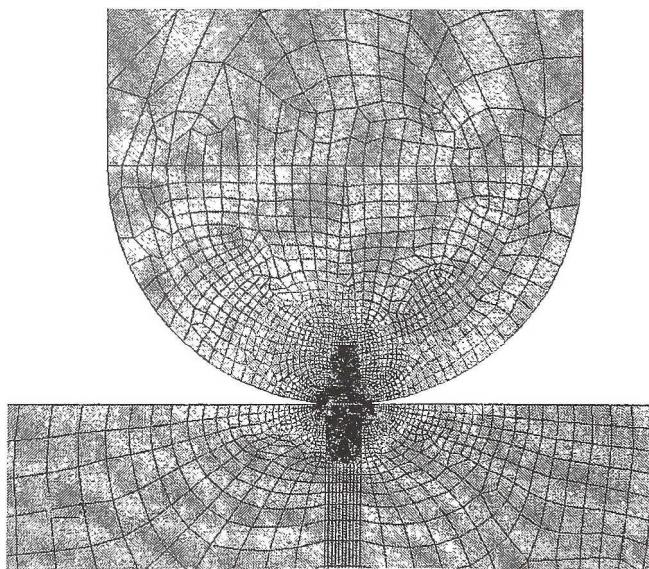


Рис. 2. Фрагмент расчетной модели

Создание расчетной модели и собственно расчет контактного образца с накладками выполнялся путем использования следующей процедуры:

- формирование геометрической модели (модель создавалась средствами CAD и далее передавалась в препроцессор МКЭ ANSYS);
- создание сетки конечных элементов на основе существующей геометрической модели;
- получение контактных конечных элементов на основе ребер (линий) существующей геометрической модели;
- приложение граничных условий;
- создание начального пятна контакта (расчет первого шага нагрузки);
- приложение рабочих нагрузок (в кинематическом виде, как указывалось выше).
- просмотр и анализ результатов.

Следует учитывать, что при использовании граничных условий в кинематическом виде (то есть при приложении нагрузок в виде перемещений, а не усилий), сходимость решения достигается быстрее.

В ходе нескольких серий расчетов (в том числе с последовательным изменением геометрии модели и применяемых сеток) проведены оптимизация формы накладок, выполняющих одновременно роль упругих элементов, по величине деформации которых назначается натяг в соединении, и контролируются режимы нагружения образца. Полученные результаты расчета позволяют уточнить уровень нагрузок по величине среднего значения и амплитуды изменения контактных напряжений в контактных парах. Вид напряжений σ_y (узловых) для начального контакта (на поверхности совпадающих с контактными напряжениями) показан на рис. 3.

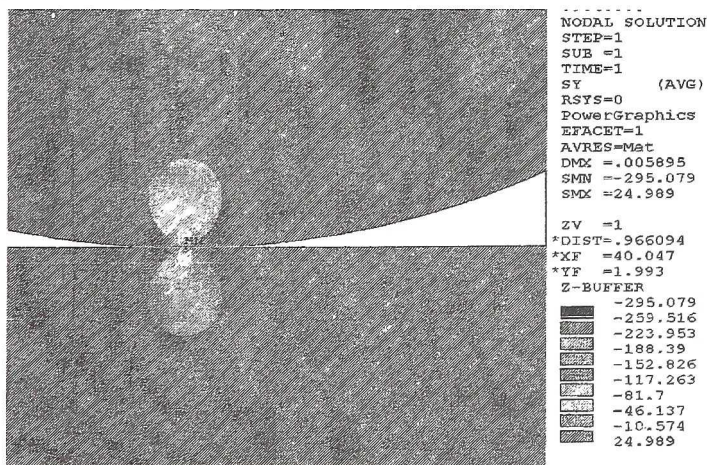


Рис. 3. Распределение напряжений σ_y в зоне контакта при расчете начального контакта

Для проверки точности расчета возможно сравнение данных напряжений со значениями элементных напряжений σ_y и значениями собственно контактных напряжений. Расхождение расчетных напряжений σ_y (узловых и элементных) наблюдалось в четвертом знаке. Расхождение узловых напряжений и контактных напряжений составило 4%.

Приложение нагрузок продолжалось до выхода из контакта одной из областей контактного взаимодействия. Значения соответствующих усилий могут быть получены путем определения реакций опор.

Изменение напряжений σ_y в зоне пятна контакта, в котором происходит увеличение контактных напряжений при деформировании образца, показано на рис. 4. Изменение напряжений σ_x в той же зоне пятна контакта показано на рис. 5. Изменение напряжений σ_y в зоне пятна контакта, в котором происходит падение контактных напряжений при деформировании образца, показано на рис. 6. Все три рисунка (4 – 6) созданы средствами постпроцессора комплекса ANSYS.

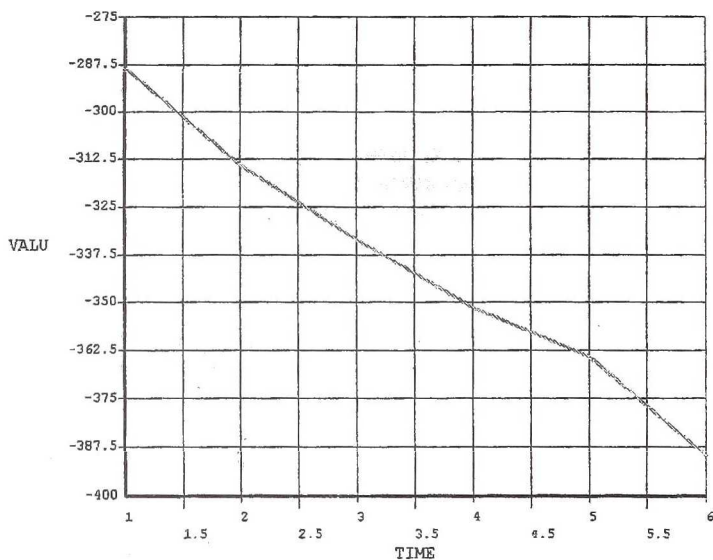


Рис. 4. Изменение напряжений σ_y в зоне пятна контакта при увеличении усилия в контакте

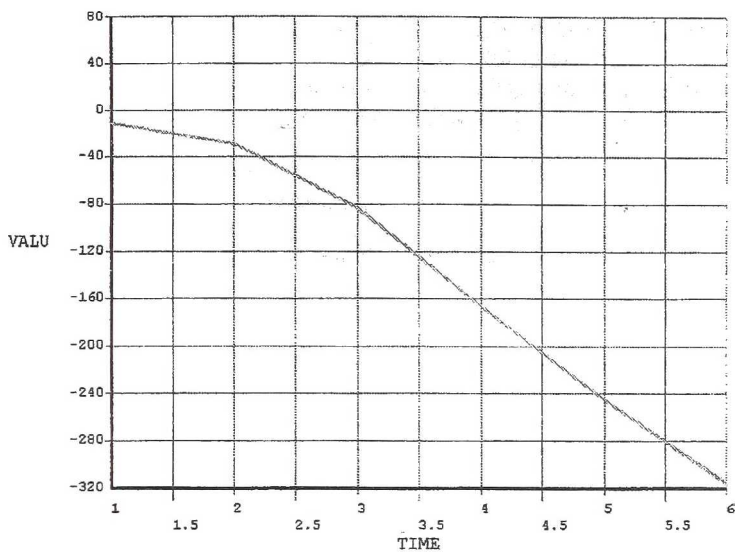


Рис. 5. Изменение напряжений σ_x в зоне пятна контакта при увеличении усилия в контакте

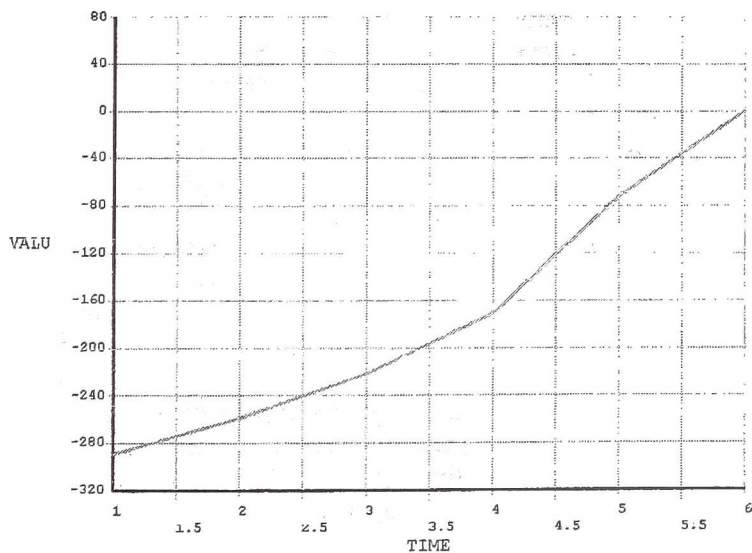


Рис. 6. Изменение напряжений σ_y в зоне пятна контакта при падении усилия в контакте

На всех трех рисунках значений ссылочного времени $TIME = 1$ соответствует начальному пятну контакта (нагрузки на консольном конце образца не прикладывались), значение $TIME = 6$ соответствует выходу одной из зон контактного взаимодействия из контакта.

Аналогичные модели могут применяться для расчета плоских и объемных контактных задач.

Список литературы

1. Петухов А. Н. Сопротивление усталости деталей ГТД. М., Машиностроение, 1993. с.240
2. Басов К. А. ANSYS в примерах и задачах. М, Компьютерпресс, 2002. с.224

КОНСТРУКТИВНЫЙ ОБЛИК ЛОПАТКИ ВЕНТИЛЯТОРА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОГО ТРДД

Петухов А.Н.

ЦИАМ им. П.И. Баранова, г. Москва

Создание современных конкурентоспособных двухконтурных двигателей с высокой тягой не возможно без применения широкохордных облегченных лопаток. Об этом свидетельствует опыт всех зарубежных фирм, работающих в этой области.

К вентиляторам современных гражданских ТРДД предъявляют высокие требования по уровню аэродинамических характеристик в широком диапазоне условий эксплуатации: по сопротивляемости вибрационным и циклическим нагрузкам; по стойкости к повреждениям при попадании в воздушный тракт посторонних предметов, включая птиц; по допустимому уровню шума и т. д. Кроме того, известно, что вентилятор существенно влияет на общую тягу и топливную эффективность силовой установки, ее массу.

Применение лопаток с антивибрационными полками ухудшает аэродинамические характеристики вентилятора и повышает расход топлива. Проведенный анализ показал, что только отказ от антивибрационных полок способствует: повышению газодинамической эффективности вентилятора до 6 %; снижению удельного расхода топлива, например, на крейсерских режимах на 4 %; увеличению расхода воздуха через вентилятор. Последнее